

离子束混合改善钢铁试样耐磨性能试验

王 必 和
(合肥工业大学 合肥 230009)

摘要 在几种钢铁试样上进行了离子束混合改善耐磨性能的试验,发现一些试样的耐磨性能有大幅度提高 (4~ 15 倍)。通过 X 射线衍射分析,发现这些试样表面出现了新的化学成分 Ti_2N TiN TiC 等。
关键词 离子束混合, 耐磨性

适当的离子注入金属表面可以大幅度地提高其耐磨性能及抗腐蚀性能,这已受到国内外的普遍重视。但由于用单纯离子注入的方法使金属表面改性,要注入浓度很大的离子才有效,而注入离子浓度又要受到表面溅射效应的限制,因而造成注入时间长、靶面温度高等问题。特别是金属离子注入改性根据不同要求需要注入不同种类的离子,但制作一些高熔点、化学稳定性强的元素离子源是相当困难的。应用离子束混合方法进行金属表面改性,是在金属表面镀一层或几层薄膜,再用高能离子束轰击(镀膜和注入离子束也可同时进行),使其与基体金属混合。可见利用离子束混合的方法掺杂浓度可以很高,离子轰击使用的剂量一般可比单纯注入所用的剂量小一二个数量级,因此大大缩短了离子轰击时间。另外,离子束混合的方法原则上只需要一种气体离子,在基体上镀不同元素的膜就可实现多种元素混合,避免了研制多种离子源的难题。

本文在几种钢铁试样上作了离子束混合改善耐磨性能的试验。试验结果表明,一些试样的耐磨性能有大幅度的提高。应用 X 射线衍射分析,发现这些试样表面层出现新的化学成分 (Ti_2N TiN TiC 等)。

1 试验方法及结果

1.1 试样制备

为了便于作磨损试验,先将基体材料做成方块试样(图 1)。所选的基体材料有钒钛铸铁、球墨铸铁、45 钢和 20 铬钢。

1.2 表面处理

试样经金相抛光和化学清洗后,对其一个面进行镀膜,然后注入适当能量和剂量的离子,从而实现离子束混合。所作试样的镀膜主要在中国科学院固体物理研究所的磁控溅射机上进行,靶室真空度取 0.4Pa,能量为 500eV,电流为 2.8A。镀层材料及厚度见表 1,镀膜的先后次序按表中所列次序。离子注入分别在北京师范

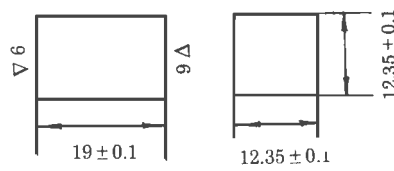


图 1 样形状与尺寸

Fig. 1 Shape and size of the samples

大学低能核物理研究所的 400kV 离子注入机及北京自动化研究所的强流离子注入机上进行, 靶室真空度取 0. 4mPa, 注入离子能量及剂量见表 1 注入先后次序按表 1中所列次序。

表 1 离子束混合处理中所用的试样

Table 1 Samples used in the ion beam mixing tests			
试样号	基体材料	镀层材料及厚度	注入离子
Specimen No.	Material of substrate	Plated material and its thickness /nm	Ions implanted
1	钒钛铸铁 V Ti cast iron	Al (16) Ti (19)	N ⁺ (220keV , 2× 10 ¹⁶ /cm ²)
2	钒钛铸铁 V Ti cast iron	Ti (33) C (10)	N ⁺ (300keV , 2× 10 ¹⁶ /cm ²)
3	球墨铸铁 Nodular cast iron	Al (16) Ti (19)	N ⁺ (300keV , 2× 10 ¹⁶ /cm ²)
4	球墨铸铁 Nodular cast iron	Al (16) Ti (19) Sn (10)	N ⁺ (300keV , 2× 10 ¹⁶ /cm ²)
5	球墨铸铁 Nodular cast iron	Ti (33)	N ⁺ (220keV , 2× 10 ¹⁶ /cm ²)
6	球墨铸铁 Nodular cast iron	Al (35)	N ⁺ (220keV , 2× 10 ¹⁶ /cm ²)
7	45 钢 45 steel	Al (16)	N ⁺ (80keV , 2× 10 ¹⁷ /cm ²) N ⁺ (50keV , 10 ¹⁷ /cm ²)
8	45 钢 45 steel	Ti (16)	N ⁺ (80keV , 2× 10 ¹⁷ /cm ²) N ⁺ (50keV , 10 ¹⁷ /cm ²) C ⁺ (70keV , 5× 10 ¹⁶ /cm ²) C ⁺ (50keV , 10 ¹⁷ /cm ²)
9	20 铬钢 20 Cr steel	Ti (16)	N ⁺ (80keV , 2× 10 ¹⁷ /cm ²) N ⁺ (50keV , 10 ¹⁷ /cm ²) C ⁺ (70keV , 5× 10 ¹⁶ /cm ²) C ⁺ (50keV , 10 ¹⁷ /cm ²)

1. 3 磨损试验

将试样的处理面与未处理面在 M HK 500 环块磨损试验机上相同条件下作磨损试验 磨损试验机转速 800r /min, 磨件由硬质合金作成圆环状 在加滴 30 号油润滑下 , 对磨 15min 每 2min 读一次磨擦系数 , 由 7 次读取的磨擦系数求出平均摩擦系数 $\bar{\mu}$ 。由最后的磨痕长度和宽度求出磨损体积 , 并求出未处理面与处理面磨损体积之比 R_v 。试验结果见表 2

表 2 试验结果

Table 2 Results of the tests					
试样号	R_v	—		R_H	
		未处理面	处理面		
Specimen No.		Untreated surface	Treated surface		
1	2. 24	0. 038	0. 038	1. 23	
2	1. 97	0. 038	0. 035	1. 69	
3	1. 93	0. 052	0. 047	1. 37	
4	2. 73	0. 047	0. 045	0. 81	
5	0. 95	0. 047	0. 046	1. 15	
6	0. 93	0. 052	0. 048	0. 84	
7	1. 80	0. 049	0. 047	1. 14	
8	15	0. 49	0. 042	1. 39	
9	4. 56	0. 046	0. 046	1. 36	

1. 4 硬度测试

用 M M T- 3 硬度仪测量处理面与未处理面的硬度。由于处理的只是试样的表面层 , 需要测量的是处理过的与未处理的表面层硬度的变化 , 因而不宜采用较高负荷 (因为在较高负荷下测出的主要是基体的硬度) , 我们选取的是较小的负荷 10g , 根据在 10g 负荷下处理面与未

处理面的压痕计算出它们的硬度比 R_H , 结果见表 2

2 实验结果分析

从表 2可以看出, 不是所有进行过离子束混合处理的表面都能提高耐磨能力。如 5号、6号试样处理面的耐磨能力还略低于未处理面 (R_v 分别为 0.95和 0.93), 但其余的都有明显提高, 特别是 8号试样处理面的耐磨能力有大幅度提高, R_v 约为 15。9号试样的 R_v 为 4.56倍, 耐磨能力也有显著提高。这两个试样的基体材料分别为 45# 钢及 20铬钢, 离子束混合处理是一样的, 都是在试样的一个表面上先镀钛 (16nm), 再复合注入 N^+ ($80keV, 2 \times 10^{17}/cm^2$; $50keV, 10^{17}/cm^2$) 及 C^+ ($70keV, 5 \times 10^{16}/cm^2$; $50keV, 10^{17}/cm^2$)。为了进一步分析引起试样耐磨性能提高的主要因素, 我们又对 8号、9号试样处理面作了 X射线衍射分析, 图 2为 8号试样处理面的 X射线衍射图谱。从图 2谱中可以看出, 不仅有基体材料铁的谱线 (No. 5 7 8 9), 而且还出现了 Ti_2N 的谱线 (No. 1 4 7), TiN 的谱线 (No. 1 3 6) 及 TiC 的谱线

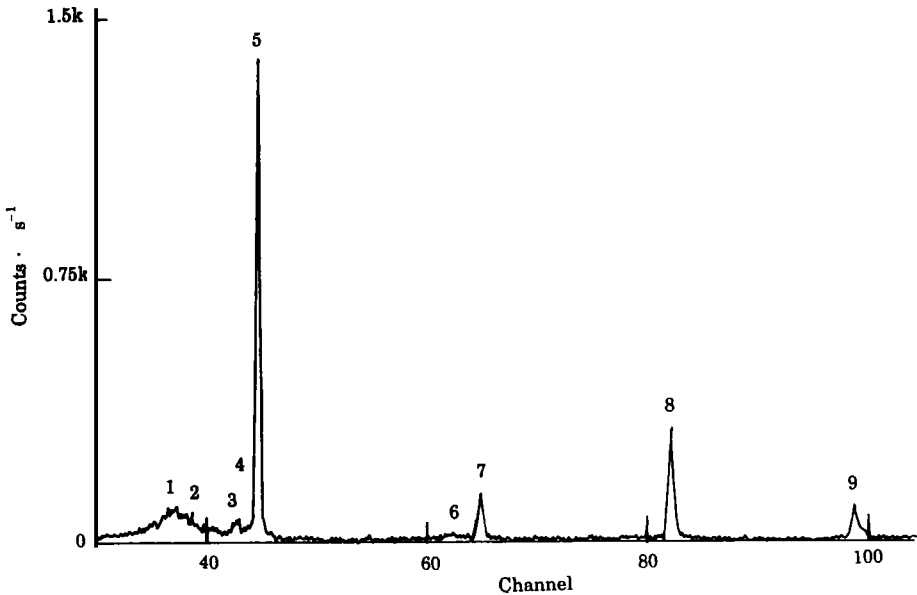


图 2 45# 钢镀钛后注入 N^+ 和 C^- 的表面 X 衍射图谱

Fig. 2 The X-ray diffraction spectrum of the Ti plated 45# steel specimen
by N^+ and C^- ion implantation

谱线编号 Spectral line No.	衍射角 (2θ) Diffracted angle/($^\circ$)	衍射峰强度 Intensity of diffracted peak	晶面间距 Distance between crystal faces	相对强度 Relative intensity of diffracted peak
1	37.32	103	2.407	7
2	38.72	85	2.323	6
3	42.84	62	2.109	4
4	43.08	67	2.098	5
5	44.78	1387	2.022	100
6	62.42	26	1.486	2
7	65.02	144	1.433	10
8	82.38	330	1.169	24
9	89.86	101	1.014	7

(No. 3 6 9) 图 3 为 8 号试样处理面与未处理面 X 射线衍射图谱的对比图。9 号试样的 X 射线衍射图谱与 8 号试样的相类似。这表明 8 号、9 号试样经离子束混合处理的表面层内出现了新的化学成分 (Ti_2N TiN TiC)。根据金属强化理论可知, 这些化合物硬质点弥散分布在基体的表层会产生明显的分散强化作用。另外, N^+ 、 C^+ 离子的注入也会形成大量间隙原子和位错网络, 从而产生一定的固溶强化作用。至于 5 号、6 号试样经离子束混合处理后的表面耐磨性能反而稍有下降的原因, 可能是因为镀层较厚, 注入离子只有一种能量, 它的平均投影射程虽大于镀层厚度, 能够引起界面处的原子有一定的混合, 但整个镀层未能与基体充分混合, 而且由于 N^+ 注入的浓度较小, 注入离子浓度近似地按高斯分布, 因而在镀层的近表面部分不能形成足够多的氮化物硬度点、间隙原子及位错网络, 所以强化作用不明显。而且由于镀层材料分别为钛和铝, 它们的耐磨能力都远不及基体材料 (球墨铸铁 45[#] 钢), 以致使处理面的耐磨能力反而比未处理面稍低些。采用不同能量的离子复合注入可使注入离子浓度分布相对均匀些, 使表面层在较大范围内得到强化。上述试验结果也表明, 用不同能量 N^+ 及 C^+ 复合注入的效果比用一种高能 N^+ 注入的效果好。

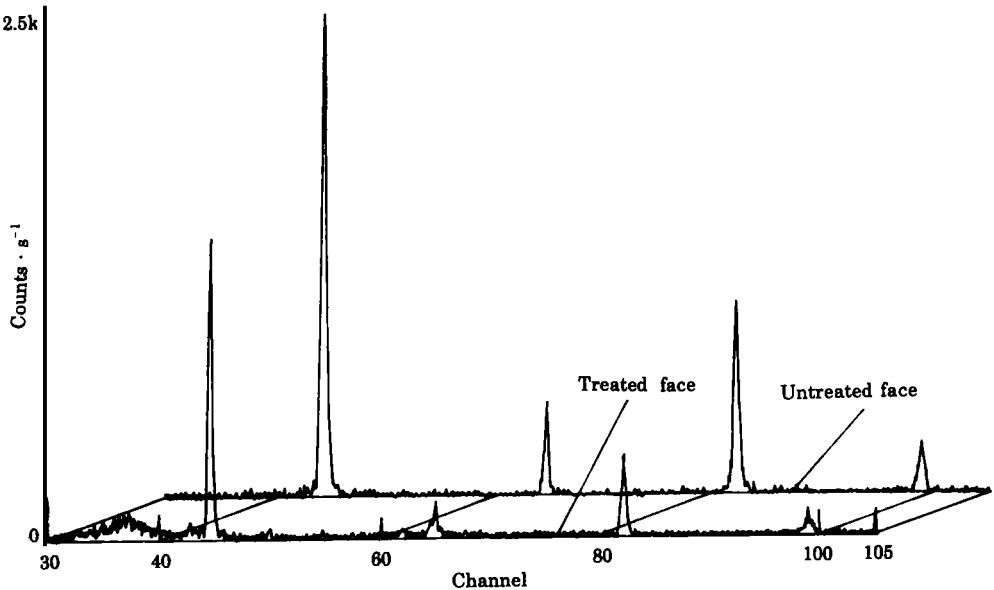


图 3 45[#] 钢试样处理面与未处理面 X 射线衍射图谱的对比

Fig. 3 The X-ray diffraction spectra of the treated and untreated face of the 45[#] steel specimen

从表 2 还可以看出, 经离子束混合处理后的平均表面摩擦系数有所下降, 但幅度不大, 少数 (如 1 号、9 号试样) 几乎未变, 而且与耐磨性能的提高没有明显的依赖关系。另外, 经离子束混合处理的表面硬度大都有所提高, 但提高的幅度也远不及耐磨性能提高的幅度, 而且两者也看出不明显的依赖关系。有的硬度虽有所下降, 但耐磨性能却有明显的提高 (如 4 号试样)。

上述试验只是对应用离子束混合方法来提高钢铁材料表面耐磨性能的初步尝试, 试验方法和试验条件还有待进一步研究和优化。然而上述试验已表明, 只要适当地选择镀膜材料,

厚度及注入离子种类 能量和注入方式, 就可以大幅度地提高钢铁材料表面的耐磨能力。

致谢 对在试验中给予热忱帮助的所有同志表示衷心感谢

参 考 文 献

- 1 Iwaki M, Okabe Y, Takhashi K, *et al.* Nucl Instr Meth, 1983; **209/210** 941
- 2 Hirano M, Miyake. Appl Phys Lett, 1985; **47** (7): 683
- 3 Kobs K, Dimigen H, Hubsch H, *et al.* Appl Phys Lett, 1986; **49** (9): 496
- 4 Gabriel H M, Kloos K H. Thin Solid Films, 1984; **118** 243
- 5 Baglin J E E, Clark G J. Nucl Instr Meth, 1985; **B7/8** 881
- 6 Lan S S, Lin B X, Nicolet M A. Nucl Instr Meth, 1983; **290/210** 97
- 7 Jacobson S, Jönsson B, Sundqvist B. Thin Solid Films, 1983; **107** 89

A wear resistance test of iron and steel specimens modified by ion beam mixing

Wang Bihe

(*Hefei University of Technology, Hefei 230009*)

Abstract

The ion beam mixing technique has been used to modify some iron and steel specimens. It is found that the wear resistance of some specimens is greatly improved (by 4–5 times). The X-ray diffraction spectra show that some new components (Ti_2N , TiN and TiC) exist in the surface of some treated specimens.

Key words Ion beam mixing, Wear resistance